

電界放射平面ディスプレイ用薄膜電子源の研究

著者	金子 彰
号	1798
発行年	1997
URL	http://hdl.handle.net/10097/10605

氏 名 かね こ あきら
 授 与 学 位 金 子 彰
 学 位 授 与 年 月 日 博士(工学)
 学 位 授 与 の 根 拠 法 規 平成10年2月12日
 学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学位規則第4条第2項
 最 終 学 歴 昭和49年3月
 東京大学教養学部基礎科学科 卒業
 学 位 論 文 題 目 電界放射平面ディスプレイ用薄膜電子源の研究
 論 文 審 査 委 員 主査 東北大学教授 横尾 邦義、東北大学教授 内田 龍男
 東北大学教授 室田 淳一

論文内容要旨

第1章 序論

自発光、高輝度、高精細、広視野角および低消費電力の高性能フラット・ディスプレイが期待できる電界放射ディスプレイ(FED: Field Emission Display)の電子源に関する本研究の背景を述べ、FEDの性能を左右する最も重要な要素技術の一つは電子源の性能であり、特に信頼性の重要性を指摘している。ディスプレイでは画面サイズの大型化が必須であるため、FED用電子源には「製作が容易」、「大型化に適している」ことが要求される。しかし、現在このような条件をすべて満足するFED用電子源は開発されていない。そこで、本研究の目的が、上述の条件を満足するFED用電子源として、横型構造の『薄膜電子源』の考案とその製作プロセス技術の開発、電子放射特性の安定化および電子ビーム収束特性の向上による、薄膜電子源の基礎技術の確立にあることを明確にした。

第2章 電界放射平面ディスプレイ用薄膜電子源

最初にFEDの研究開発状況、基本構造、動作原理等の概要を述べ、次にFEDとしてモノクロ10" FEDを想定した仕様(表1参照)に基づいて、FED用マトリクス電子源に要求される放射電流量および放射電子ビームの発散角の閾値について予測を行った。そして、放射電流の予測値として、1画素当たりシングル走査方式で $11.7\mu\text{A}$ 、ダブル走査方式で $5.85\mu\text{A}$ を得た。また、隣接画素とのクロストークの起きない放射電子ビームの

表1 モノクロ10" FEDの仕様

画面サイズ	10	インチ
画 素 数	480×640	画素(VGA)
画素サイズ	317.5×317.5	μm
有効画素面積の割合	70	%
輝 度	300	cd/m^2
蛍光体発光効率	13	lm/W
アノード電圧	300	V

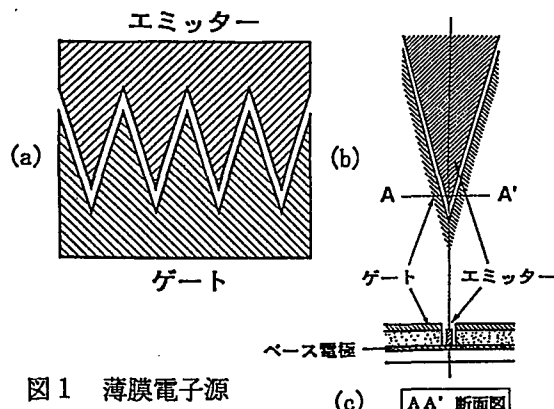


図1 薄膜電子源
 (a)平面図、(b)平面拡大図、(c)断面図

発散角は、電子源－蛍光体の間隔が $150\mu\text{m}$ で 19.1° 以下を得た。これらの予測を踏まえ、FED用電子源としてエミッターとゲートが対向した横型構造の薄膜電子源（図1参照）を考案した。

第3章 薄膜電子源の電子放射特性

本研究に先立ち、予備実験として「楔形薄膜電子源」を試作し、プロセス、電子源特性等の薄膜電子源の課題抽出を行った。試作した楔形薄膜電子源は印加電圧85Vで電子放射電流 $12\mu\text{A}$ とFED用電子源として必要な放射電流量を得た。しかし、ゲート電流が大きく、電子放射電流の電流分配率が悪いことが明らかになった。この原因は電子源の構造およびウェットプロセスにあり、構造の最適化と電子源製作のドライプロセス化が必要であることを明らかにした。そこで、構造の最適化のために、エミッター先端近傍の電界強度、電界の方向、放射電子軌道等の解析シミュレーションを行った。そして、電界強度のエミッター先端角、エミッター先端からの距離、エミッター高さ、およびエミッターとゲート間の距離の依存性から薄膜電子源の性能予測を行い、構造設計の指針を得た。また、薄膜電子源のエミッター先端では一番強い電界が形成され、横型構造の電子源であっても電子源上方への電子放射が可能であることを示した。その結果、薄膜電子源がFED用電子源として利用できることを明らかにした。

第4章 薄膜電子源のドライプロセス

プロセスの制御性、再現性、加工精度等を向上させるために反応性イオンエッチング（RIE）を基本とした薄膜電子源の製作プロセスのドライ化について検討し、「自己整合法」、「二段階RIE法」という独自のプロセス技術を導入して、ドライプロセス技術の確立を図った。最初に薄膜電子源の各構成材料の最適化の検討を行った。エミッタ材料は、高融点材料であるMoおよびW蒸着膜の成膜条件、膜質、プロセス履歴の影響等をSEM、X線回折、オージェ分析等によって評価、検討を行った。そして、スパッタ成膜によるMo膜およびストレスフリーW膜のプロセス技術を確立した。絶縁体材料は、 SiO_2 、 Al_2O_3 ；スパッタ蒸着膜の絶縁耐圧、プロセス履歴の影響等の検討を行い、印加電圧200Vでリーク電流密度 $5\text{pA}/\text{cm}^2$ 以下の良質な絶縁体膜の形成技術を確立した。また、抵抗層材料にはスパッタSi膜の比抵抗の面から検討を行い、電流安定化に必要な比抵抗値約 $2\times 10^4\Omega\text{cm}$ の膜を得た。マスク材料としては、RIEに対する耐性とマスクパターンの形成およびリフトオフの容易さから厚膜のAl蒸着膜の検討を行い、グレインサイズ約250nmの良質なAl膜の得られる成膜プロセス技術を確立した。ベースおよびゲート電極材料のCr膜は基板温度等の膜形成条件についての検討を行い、そのプロセス技術を確立した。続いて、薄膜電子源の特性の良否を決定づけるRIEにおけるエッチング条件の検討を行った。 CF_4 ガスおよび O_2 添加 CF_4 ガスによるRIEにおいて、エミッタ材料のMoおよびWと、抵抗層材料のSiのエッチング条件の最適化を行った。また、エッチング条件を制御し、異方性および等方性のエッチングを利用した二段階RIE法でのサブミクロン加工技術を開発した。これらの検討により、FED用薄膜電子源製作のドライプロセス技術を確立した。

第5章 FED用星形薄膜電子源の電子放射特性

FED用薄膜電子源としてアレー化（FEA）を考慮した新たな「星形薄膜電子源」（図2参照）を考案し、第4章で確立したドライプロセス技術を用いて製作した星形薄膜電子源の電子放射特性の検討を行った。本研究では $200\mu\text{m}$ 角中に61個の星形薄膜電子源がアレー状に配置され、そのそれぞれの星形薄膜電子源が曲率半径50nm以下に加工された4つの先端を持つ「星形薄膜FEA」を製作した。星形薄膜電子源に初めて電圧印加を行うと、最初は電子放射が現れないが、しばらく電圧印加を続けていると時間とともに電子放射が起る。この現象はジュール熱によるエミッター表面の清浄化と関係しており、その考察を行った。また、電子放射電流の安定

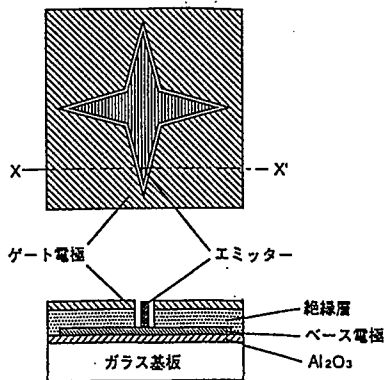


図2 星形薄膜電子源

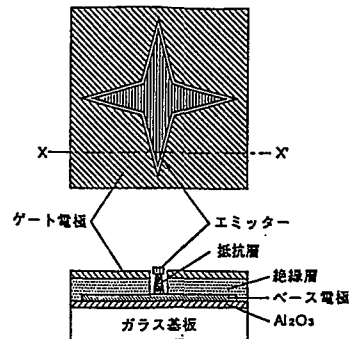


図3 二層構造星形薄膜電子源

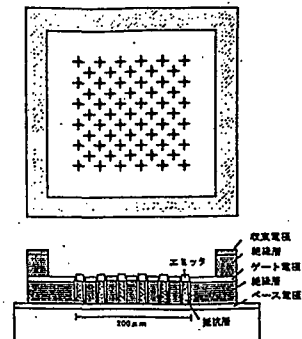


図4 ビーム収束星形薄膜電子源

性についての検討を行った。短期的な電流変動は、電流が少ないとスパイク状の変動となり、電流が 500 nA 以上になるとステップ状の変動となる。また、長期的電流変動は、電圧印加20～30時間はエミッター表面の活性化のために激しく変動するが、その後、時間とともに電流変動は減少し、平均電流も漸減する。従って、星形薄膜電子源は放射電流特性の安定性の面で改善の必要がある。そこで、これを改良した「二層構造星形薄膜電子源」（図3参照）を考案し、検討を行った。この薄膜電子源は、エミッター部分が電流制限を行う「抵抗層部分」と電子放射を行う「電子放射層部分」の2層構造になっており、電子源自身で電流を安定化する機能を備えている。そこで、最初に、電流安定化に必要な安定化抵抗の値を理論的に予測し、抵抗層の構造等を検討した。次に、「単一二層構造星形薄膜電子源」、「200 μm角二層構造星形薄膜F E A」、「4.8mm角二層構造星形薄膜F E A」を製作し、その電子放射特性および電流変動について考察を行った。電子放射特性は動作電圧 100Vで二層構造星形薄膜電子源1個当たり60～70 nA、また、200 μm角二層構造星形薄膜F E Aでは1ピクセルで必要とする電流値以上の13.6 μAの放射電流を得た。さらに、放射電流の分配率も90～99%と高い値を示し、F E D用薄膜F E Aとして十分な放射電流特性を持つことを示した。また、安定性の面でも、放射電流2 μAに対して安定化抵抗を20MΩ以上にすると電流変動は10%以下に抑制でき、10階調の画像表示が可能であることが明らかになった。さらに、パルス駆動にて1200時間の寿命試験でもほとんど電流変動は観測されず、二層構造星形薄膜電子源のF E D用電子源としての信頼性も実証された。

第6章 星形薄膜電子源の放射電子ビーム収束特性

ディスプレイの表示品質と深く関わる薄膜電子源のビーム収束性についての検討を行った。電子ビームの拡がりを抑えるために各画素の電子源を囲むように「平面収束電極」を形成した「ビーム収束星形薄膜電子源」（図4参照）を考案し、その製作を行った。そして、蛍光面を用いた発光像の観察から、ビーム収束星形薄膜電子源の収束電極開口幅、収束電極電位、およびアノード電位に対するビーム収束特性についての考察を行った。収束電極の開口幅は狭いほど収束効果が高く、また収束電極電位 -100V以下にすると発光像の均一性が向上することを明らかにした。ビーム収束率は、アノード電位 100V基準にして 680Vでは約0.45と向上する。また、ビーム発散角は、アノード電圧を 340Vから 680Vにすると垂直方向のビーム発散角が40° から30° に向上する。さらに、収束電極の形成により垂直方向のビーム発散角は17° と大きく改善され、画素間クロストークの起こらない電子源を実現した。以上のことから、収束電極を形成したビーム収束星形薄膜電子源は、F E D用電子源として良好なビーム収束特性を持ち、高画像品質用電子源として有効であることが実証された。

第7章 結論

本章は、本研究の結論であり、製作および大型が容易な薄膜電子源の基礎技術が確立され、高性能フラット・ディスプレイ用電子源として薄膜電子源が有用であると結論付けている。

審査結果の要旨

電界放射ディスプレイ（FED）は次世代の高輝度、高精細の平面型の画像表示装置として、その開発が期待されている。このため、表示画素に対応してアドレス可能な電界放射陰極アレイの開発研究が行われているが、原子的スケールの針状陰極のアレイ構造を表示パネル全体にわたり一様に、再現性良く製作することは極めて困難である。

著者は、陰極アレイの大型化と製作における再現性の確保が容易な薄膜平面構造の電子源を考案し、その製作のためのドライプロセス技術を確立し、FEDパネルの大型化と高信頼化に道を開いた。本論文はその成果をとりまとめたもので、全文7章よりなる。

第1章は序論である。第2章では、FED用の電子源に要求される性能仕様を明らかにして、薄膜平面構造の電子源がFEDに適用できることを示している。

第3章では、薄膜電子源の基本的な構造である楔形構造電子源を製作し、その電子放射特性の測定と電子軌道のシミュレーションとにより、FED用の薄膜電子源の構造設計に指針を与えている。これは重要な知見である。

第4章では、多層薄膜で構成される電子源の構成材料と製作のためのプロセスの最適化の検討を行い、自己整合法と2段階反応性イオンエッチング法を基本とするFED用薄膜電子源製作のドライプロセス技術を確立した。これにより、ストレスフリーの高融点金属薄膜、高耐圧絶縁薄膜（絶縁耐圧200Vで $4 \times 10^{13} \Omega$ 以上）、放射電流の安定化に必要な比抵抗値 $4 \times 10^4 \Omega \text{cm}$ 以上の抵抗薄膜等、電子源を構成する薄膜に要請される高品質の膜形成を可能にした。

第5章では、FEDパネルの高輝度化と高信頼化のために、新たに星形構造の薄膜電子源を考案し、製作した種々のアレイ構造電子源からの電子放射特性について述べている。即ち、画素当りの放射電流 $13.6 \mu\text{A}$ 、蛍光面への電流分配率90～99%、放射電流変動10%以下等を達成し、この電子源が高画質FED用電子源としての基本性能を満たすことを実証した。また、パルス動作での1200時間の寿命試験中の電流変動は5%以下であった。これらは実用上重要な成果である。

第6章では、放射電子ビームの収束のための収束電極を付加した星形薄膜電子源の製作を行い、この電子源が良好なビーム収束性を持つことから、提案したビーム収束星形薄膜電子源がFEDパネルの高精細化のために有効であることを示している。

第7章は結論である。

以上要するに本論文は、大型化と再現性の確保が容易な薄膜電子源の製作のための基盤技術を確立し、大型FEDパネルの実用化に展望を与えたもので、電子工学及び画像工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位として合格と認める。